

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-176330

(43)公開日 平成9年(1997)7月8日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 0 8 J	5/04		C 0 8 J	5/04
B 2 8 B	23/02		B 2 8 B	23/02
C 2 2 C	1/09		C 2 2 C	1/09
	14/00			14/00
	21/00			21/00
				Z
				G
				Z
				E

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 6 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平7-351449

(22)出願日 平成7年(1995)12月26日

特許法第30条第1項適用申請有り

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 谷 順二

宮城県仙台市青葉区通町1-5-11

(72)発明者 古屋 泰文

宮城県仙台市青葉区吉成1-21-11

(72)発明者 島本 聰

埼玉県大里郡岡部町今泉768

(74)代理人 弁理士 小倉 亘

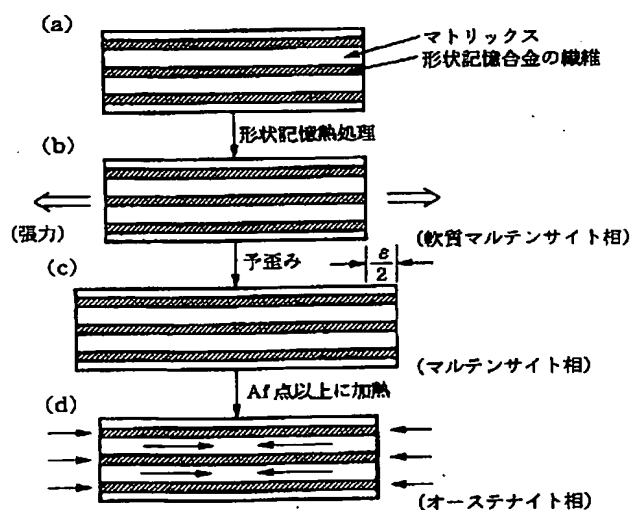
(54)【発明の名称】 破壊進行防止機能をもつ複合材料及び破壊進行防止システム

(57)【要約】

【目的】 不測の外力が加わったときに材料自体の剛性を高め、亀裂等の破壊が進行することを防止する。

【構成】 加熱用熱源に接続される両端が複合材料表面に露出した状態で、形状記憶合金ワイヤ又は繊維をマトリックスに複合させている。複合材料に加わる振動、衝撃等は、音響弾性波センサ又は薄膜化した圧電センサで検出され、演算器で制御信号に変換され、制御信号に基づいて形状記憶合金ワイヤに供給される加熱用熱源が制御される。加熱された形状記憶合金のワイヤが結晶相変態し、圧縮力及び剛性向上により複合材料の強度が高められる。

形状記憶合金繊維の収縮



【特許請求の範囲】

【請求項1】 単数又は複数の形状記憶合金ワイヤ又は繊維を、加熱用熱源に接続される両端が複合材料表面に露出した状態でマトリックスに複合させたことを特徴とする破壊進行防止機構をもつ複合材料。

【請求項2】 請求項1記載のマトリックスが合成樹脂である複合材料。

【請求項3】 請求項1記載のマトリックスがコンクリートである複合材料。

【請求項4】 請求項1記載のマトリックスがアルミニウム、チタン又はそれらの合金である複合材料。

【請求項5】 単数又は複数の形状記憶合金ワイヤ又は繊維を内在させた複合材料と、該複合材料の表面に取り付けられた音響弾性波センサ又は薄膜化した圧電センサと、該センサから入力された信号に基づき制御信号を出力する演算器と、前記制御信号に基づいて前記形状記憶合金のワイヤに熱源を供給する加熱機構とを備え、加熱された前記形状記憶合金のワイヤが結晶相変態するときの圧縮力及び剛性向上により前記複合材料の剛体強度が高められる破壊進行防止システム。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【産業上の利用分野】 本発明は、振動等の外力で材料自体に発生した亀裂を検出し、材料や部材内部に圧縮応力を発生させて材料自体の剛性強度を向上させることにより破壊の進行を防止する機能をもつ複合材料及び該複合材料を使用した破壊進行防止システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 建築構造物等では、衝撃、振動、地震等の不測の外力を考慮して使用される建築材料の強度設計が法令等で定められている。他方、建築物の躯体に加わる荷重を軽減するためには、可能な限り軽量の建築材料が要求される。強度と軽量性とを兼ね備えたものとして、従来から種々の材料が開発されている。たとえば、繊維強化した合成樹脂、アルミ系複合材料等がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、従来の複合材料では、目標強度を得ようとする強化材である繊維や金属フィラメントを多量に配合する必要がある、その分だけ製造が困難になったり、得られた製品の重量が嵩む結果となる。また、達成可能な強度にも限界がある。そのため、適用可能な対象にも制約が加わる。本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、2種の形状をとる形状記憶合金の特性を利用し、衝撃、振動等の外力が加わったときに材料自体に圧縮応力を働かせることにより、材料自体の強度を上げて破壊の進行を防止する複合材料及び破壊進行防止システムを提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明の複合材料は、そ

の目的を達成するため、単数又は複数の形状記憶合金ワイヤ又は繊維を、加熱用電源に接続される両端が複合材料表面に露出した状態でマトリックスに複合させたことを特徴とする。マトリックスとしては、合成樹脂、コンクリート、Al、Mg、Ti 或いはそれらの合金等の軽金属等が使用される。形状記憶合金としては、TiNi、NiAl、CuZn、FeNiTiCo、TiNb、MnCu、FeCrNi（ステンレス）系等が使用される。この複合材料を使用した破壊進行防止システムは、単数又は複数の形状記憶合金ワイヤ又は繊維を内在させた複合材料と、該複合材料の表面に取り付けられた音響弾性波センサ又は薄膜化した圧電センサと、該センサから入力された信号に基づき制御信号を出力する演算器と、前記制御信号に基づいて前記形状記憶合金のワイヤに加熱電流を供給する通電機構とを備えており、加熱された前記形状記憶合金のワイヤが結晶相変態して元の長さに戻ろうとするとき発生する圧縮力及び剛性向上により前記複合材料の剛体強度が高められることを特徴とする。

【0005】

【作用】 形状記憶合金は、逆変態点 A_f 以上の高温オーステナイト相領域で熱処理することにより、第1の形状を記憶する。次いで、低温側マルテンサイト変態開始点 M_s 近傍の室温に焼入れし、引張り予歪みを付与することにより第2の形状を与える。この形状記憶合金は、 A_f 点以上の温度に加熱されたとき、第1の形状に復元し、その剛性や強度も2～3倍向上する。本発明では、形状記憶合金のこの特徴を生かし、振動や衝撃が加わったときに形状記憶合金を加熱して第1の形状に変形させることにより、複合材料に圧縮力を働かせ、剛性を向上させている。具体的には、図1に示すように形状記憶合金のワイヤ又は繊維をマトリックスに複合化する。マトリックスとしては、用途に応じて各種合成樹脂、Al、Ti等の軽金属、コンクリート、パーティクルボード等の建材が使用される。マトリックス中に形状記憶合金のワイヤ又は繊維を組み込み(a)、この状態で形状記憶用の熱処理を施す(b)。次いで、張力を加えて予歪みを与え、常温状態の形状に成形する(c)。この形状の複合材料を建材、部品等として装置や構造体に組み込み、振動や衝撃が加わったときに形状記憶合金を加熱する。加熱温度が A_f 点を超えると、形状記憶合金が第1の形状に収縮しようとする(d)、複合材料に圧縮力が働き、剛性が向上する。

【0006】 加えられる振動や衝撃に応じて形状記憶合金を加熱する手段としては、図2に示す構成が採用される。すなわち、複合材料の表面に音響弾性波センサ(AEセンサ)を取り付け、複合材料に加えられた振動や衝撃をAEセンサで検出する。或いは、薄膜化した圧電センサにより振動や衝撃を検出することもできる。検出値は、増幅器(AEアンプ)で増幅され、オシロスコープ

及び演算器に入力される。演算器では、入力された音響弾性波を解析し、複合材料に割れ等の欠陥が発生したか否かを判定する。欠陥発生と判定された場合、演算器から制御信号が加熱用機器に出力され、デジタルボルトメータを経て所定の加熱用熱源が形状記憶合金のワイヤに供給される。加熱用熱源としては、蒸気、温水、直接通電抵抗加熱方式等が採用される。たとえば、直接通電抵抗加熱方式を利用したシステムについて説明する。通電加熱により A_f 点以上に昇温した形状記憶合金は、マルテンサイト変態によって収縮し、複合材料に圧縮力を加える。その結果、複合材料内部に発生した割れ等の欠陥が周囲に伝播することが抑制され、破壊の進行が防止される。

【0007】

【実施例】複合材料内部に発生する欠陥の伝播を観察するため、透明度の高いアクリル樹脂を複合材料のマトリックスに使用し、形状記憶合金の繊維を複合化した。形状記憶合金には、マルテンサイト変態開始温度 $M_s = 31^\circ\text{C}$ 、マルテンサイト変態終了温度 $M_f = 1^\circ\text{C}$ 、オーステナイト変態開始温度 $A_s = 57^\circ\text{C}$ 、オーステナイト変態終了温度 $A_f = 63^\circ\text{C}$ の $\text{Ti}-50.2$ 原子% Ni 合金を使用した。この形状記憶合金の応力-歪み曲線は、図3に示すように温度に応じて異なっていた。試験に供した複合材料は、図4に示すように厚み6mm、幅136mm、高さ20mmで、内部に直径0.4mmの $\text{Ti}-\text{Ni}$ 繊維を5mm間隔で3本複合化した。そして、複合材料の幅方向中央部に、幅0.3mm及び深さ30mmで先端部角度が60度の切欠きを付けた。

【0008】この複合材料に300Nの荷重を加え、切欠き部周辺に発生する光学的縞模様を室温及び80℃で観察した。この光学的縞模様は、材料内部の応力分布状態を示し、その本数（次数）は応力の大きさを示す指標になっているので、大きく広がっているものほど、加えられた荷重が広範囲に及び、切欠きを起点とする亀裂（破壊）が進行し易くなる。観察結果を対比した図5にみられるように、室温での縞模様（a）に比較して80℃に $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金を加熱したときの縞模様（b）は、明らかに小さくなっていた。このことから、 $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金のマルテンサイト変態による収縮力が複合材料に作用し、亀裂の進行が阻止されることが判る。また、 $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金に与えた予歪みと縞模様との関係を調査したところ、図6に示すように大きな予歪みを与えたものほど応力の伝播が狭い範囲に抑えられていた。このことは、予歪みが大きくなるほど、 A_f 点以上に加熱された $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金の収縮力が大きくなり、亀裂の伝播が抑

制されることが判る。

【0009】以上は、複合材料内部の応力伝播状況を観察するため、透明アクリル樹脂をマトリックスに使用した場合を説明した。しかし、形状記憶合金の形状変化に起因する収縮力の発生は、他のマトリックス材料を使用した複合材料でも同様に働くものである。実際、ポリカーボネート、アクリル系の合成樹脂ブロックに600Nの力を加えたとき亀裂が進行し、ブロックが破断した。しかし、5%の予歪みを与えた $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金ワイヤを同じ合成樹脂に複合させた複合材料では、 $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金ワイヤを80℃に加熱した状態で1000Nの力を加えても亀裂の進行がみられなかった。同様にアルミニウム合金をマトリックスとした複合材料では、アルミニウム合金自体でできたブロックが3000Nの力で破断したのに対し、5000Nの力を加えても亀裂の進行がなかった。また、同様にコンクリートをマトリックスとした複合材料では、コンクリート自体でできたブロックが2500Nの力で破断したのに対し、3000Nの力を加えても亀裂の進行がなかった。

【0010】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明は、形状記憶合金が昇温したときに元の記憶形状に回復変形することを利用して複合材料内部に圧縮力をかけ、また同時に起きる合金の硬度上昇により、複合材料の剛性を一次的に高め、亀裂等の欠陥が進行し、突発的な破壊が起きることを抑制している。しかも、形状記憶合金は、常温定常状態に戻ると第2の形状に変化するため、複合材料に内部応力を発生させることがない。したがって、不測の振動や衝撃が加わったときに大きな耐力を呈し、定常状態では必要強度をもつ材料となるので、建材、機械部品、電気部品等として広範囲な分野で機能材料として使用される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に従った複合材料が剛性を向上させることを説明する図

【図2】 本発明に従った破壊進行防止システム

【図3】 実施例で使用した $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金の応力-歪み曲線の温度依存性

【図4】 アクリル樹脂に $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金ワイヤを複合した複合材料

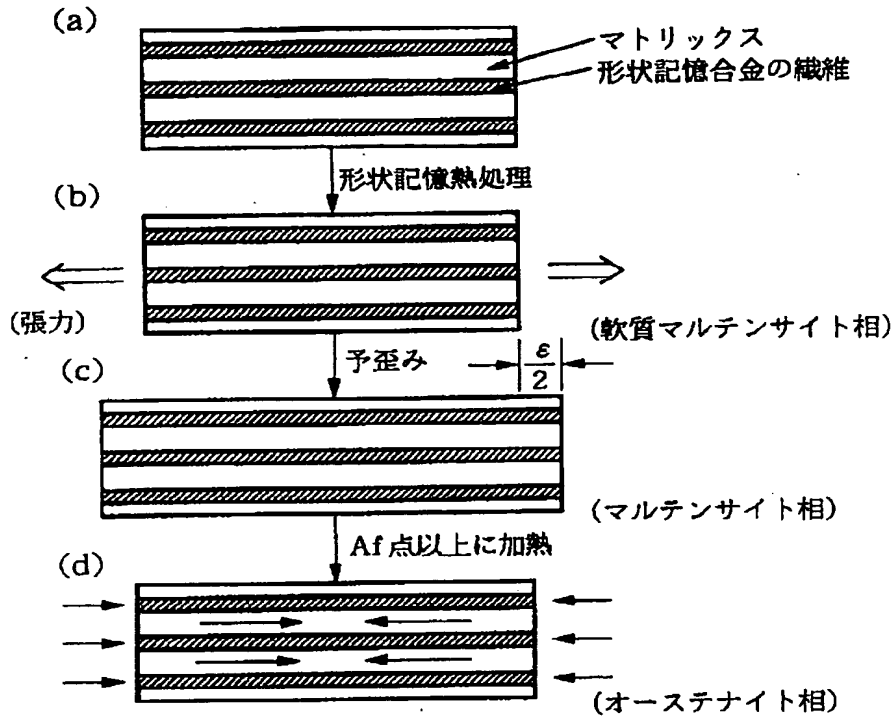
【図5】 室温（a）及び80℃（b）の複合材料内に発生した応力伝播を表す縞模様

【図6】 予歪み0%（a）、1%（b）、3%

（c）、5%（d）の $\text{Ti}-\text{Ni}$ 合金を複合させた複合材料内に発生した応力伝播を表す縞模様

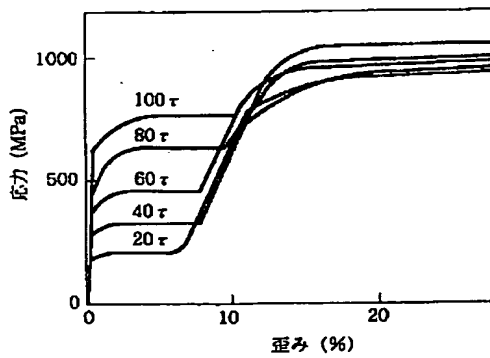
【図1】

形状記憶合金繊維の収縮

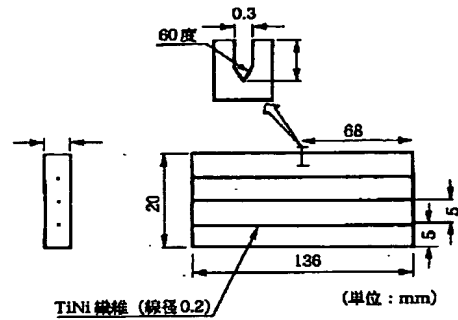


【図3】

Ti-Ni合金の応力-歪み曲線

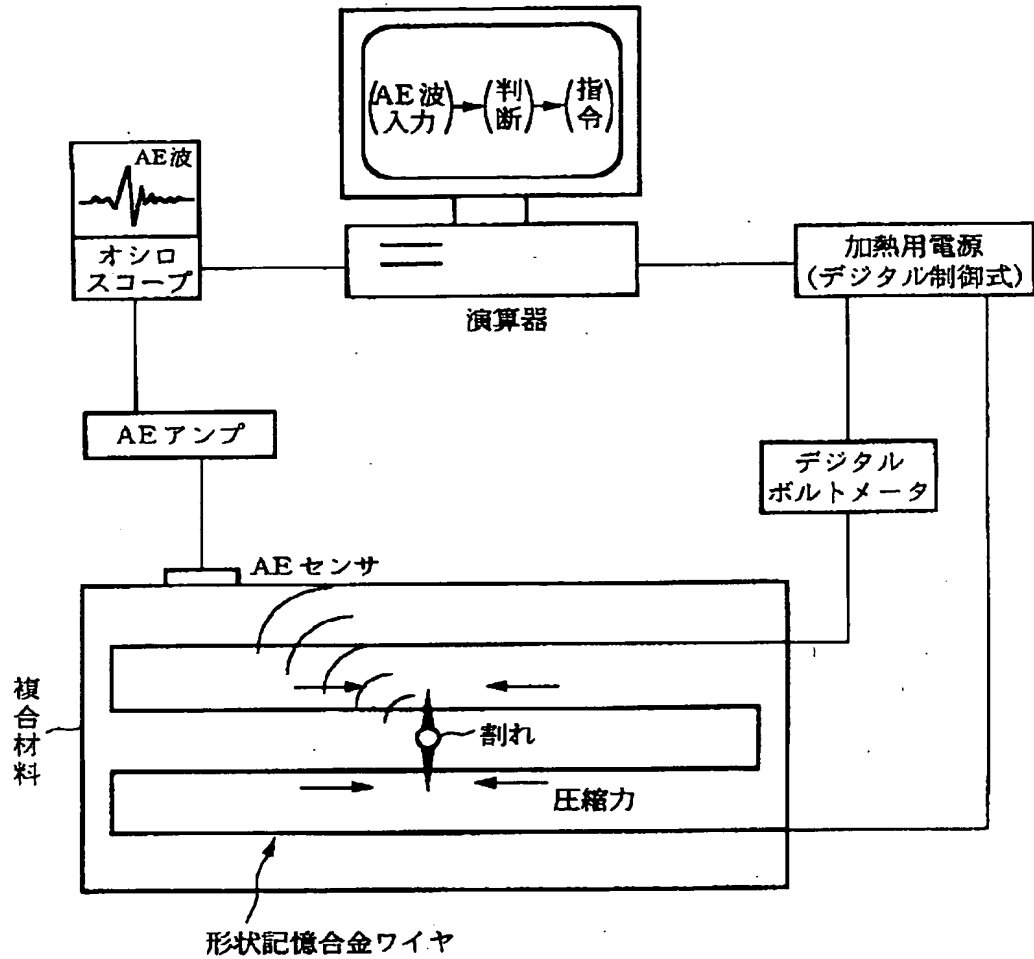


【図4】



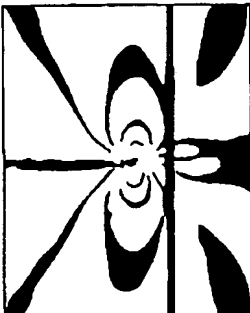
【図2】

破壊進行防止システム

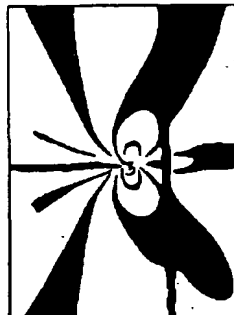


【図5】

(a) 室温



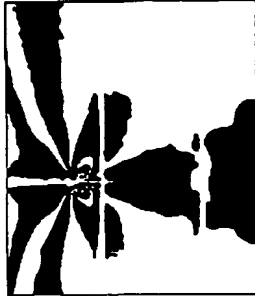
(b) 80℃



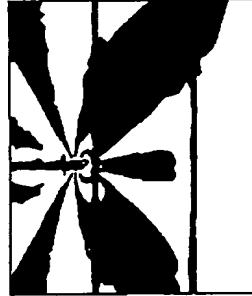
【図6】

予歪み応力伝播に及ぼす影響

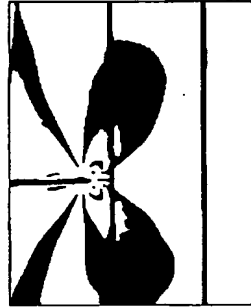
(a) 予歪み0%



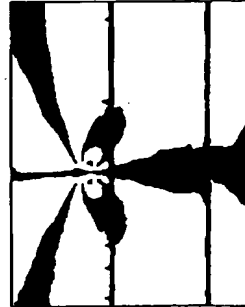
(b) 予歪み1%



(c) 予歪み3%



(d) 予歪み5%



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

G 0 1 N 29/04

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 1 N 29/04

技術表示箇所

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第3部門第3区分
 【発行日】平成13年10月23日(2001.10.23)

【公開番号】特開平9-176330
 【公開日】平成9年7月8日(1997.7.8)
 【年通号数】公開特許公報9-1764
 【出願番号】特願平7-351449
 【国際特許分類第7版】

C08J 5/04
 B28B 23/02
 C22C 49/00
 14/00
 21/00
 G01N 29/04

【F I】

C08J 5/04
 B28B 23/02
 C22C 1/09
 14/00
 21/00
 G01N 29/04

Z
 G
 Z
 E

【手続補正書】

【提出日】平成13年2月14日(2001.2.14)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】請求項1
 【補正方法】変更
 【補正内容】

【請求項1】 単数又は複数の形状記憶合金ワイヤ又は繊維を、加熱用熱源に接続される両端が複合材料表面に露出した状態でマトリックスに複合させたことを特徴とする破壊進行防止機能をもつ複合材料。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書
 【補正対象項目名】0007
 【補正方法】変更
 【補正内容】
 【0007】

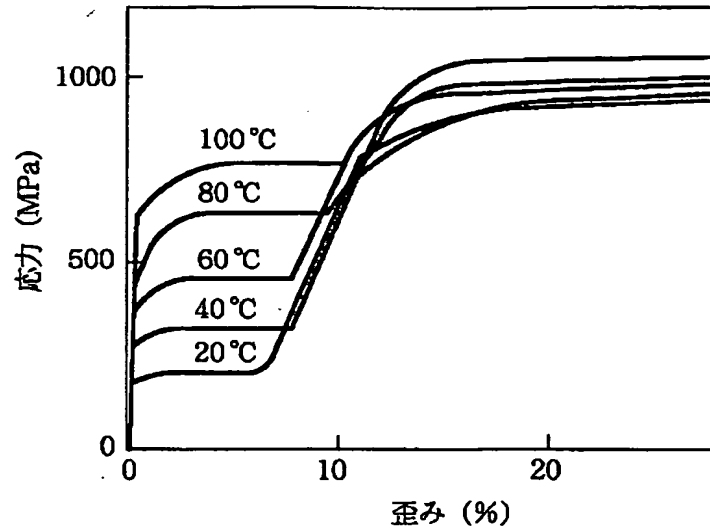
【実施例】複合材料内部に発生する欠陥の伝播を観察するため、透明度の高いアクリル樹脂を複合材料のマトリ

ックスに使用し、形状記憶合金の繊維を複合化した。形状記憶合金には、マルテンサイト変態開始温度 $M_s = 31^\circ\text{C}$ 、マルテンサイト変態終了温度 $M_f = 1^\circ\text{C}$ 、オーステナイト変態開始温度 $A_s = 57^\circ\text{C}$ 、オーステナイト変態終了温度 $A_f = 63^\circ\text{C}$ のTi-50.2原子%Ni合金を使用した。この形状記憶合金の応力-歪み曲線は、図3に示すように温度に応じて異なっていた。試験に供した複合材料は、図4に示すように厚み6mm、幅136mm、高さ20mmで、内部に直径0.4mmのTi-Ni繊維を5mm間隔で3本複合化した。そして、複合材料の幅方向中央部に、幅0.3mm及び深さ3.0mmで先端部角度が60度の切欠きを付けた。

【手続補正3】

【補正対象書類名】図面
 【補正対象項目名】図3
 【補正方法】変更
 【補正内容】
 【図3】

Ti - Ni 合金の応力 - 歪み曲線



【手続補正 4】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 4

【補正方法】変更

【補正内容】

【図 4】

